

VŠB – Technická univerzita Ostrava
Fakulta strojní
Katedra mechanické technologie

**Svařování tenkostěnných trubek v automobilovém
průmyslu**

Welding of thin-walled tubes in the automotive industry

Student:

Martin Fryšák

Vedoucí bakalářské práce:

prof. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.

Zadání bakalářské práce

Student: **Martin Fryšák**
Studijní program: B2341 Strojírenství
Studijní obor: 2303R002 Strojírenská technologie
Téma: Svařování tenkostěnných trubek v automobilovém průmyslu
Welding of Thin-Walled Tubes in the Automotive Industry
Jazyk vypracování: čeština

Zásady pro vypracování:

1. Posouzení současného stavu výroby tenkostěnných trubek.
2. Studium způsobů indukčního ohřevu při svařování a tepelném zpracování trubek.
3. Návrh a provedení svarových spojů tenkostěnných trubek.
4. Provedení zkoušek svarových spojů a vyhodnocení výsledků.

Seznam doporučené odborné literatury:

KUNCIPÁL, J. A KOL. *Teorie svařování*. Praha: SNTL Praha, 1986, 265 s.
KOLEKTIV AUTORŮ. *Materiály a jejich svařitelnost*. (Učební texty pro kurzy IWE/IWT). Ostrava: ZEROSS, Ostrava, 292 s. ISBN 80-85771-85-3.
TURŇA, M. *Špeciálne metódy zvarovania*. Bratislava: ALFA Bratislava, 1989, 384 s. ISBN 80-05-00097-9.
KOLEKTIV AUTORŮ. *Výroba, technická příprava výroby a kontrola svarových spojů*. (Učební texty pro kurzy IWE/IWT). Ostrava: ZEROSS, 2002, 417 s. ISBN 80-85771-97-1.
HLAVATÝ, I. *Teorie a technologie svařování*. Ostrava: VŠB-TU Ostrava, 2009, poslední revize 20. 10. 2011. Dostupné z: < <http://fs1.vsb.cz/~hla80> >.
PTÁČEK, L. A KOL. *Nauka o materiálu I.*. Praha: Akademické nakladatelství CERM, s.r.o. 2001, 505 s. ISBN 80-7204-193-2.

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí bakalářské práce: **prof. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.**

Datum zadání: 20.12.2019

Datum odevzdání: 18.05.2020

Ing. Lucie Krejčí, Ph.D.
vedoucí katedry



prof. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.
děkan fakulty

Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu. V práci jsem použil interní údaje o výrobě tenkostěnných trubek získaných od firmy, firma s jejich zveřejněním souhlasí.

V Ostravě dne 18. května 2020.


.....
Podpis studenta

Prohlašuji, že:

- jsem si vědom, že na tuto moji závěrečnou bakalářskou*) práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. Zákon o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (dále jen Autorský zákon), zejména § 35 (Užití díla v rámci občanských či náboženských obřadů nebo v rámci úředních akcí pořádaných orgány veřejné správy, v rámci školních představení a užití díla školního) a § 60 (Školní dílo),
- беру на ве́домі́, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo užít tuto závěrečnou bakalářskou*) práci nekomerčně ke své vnitřní potřebě (§ 35 odst. 3 Autorského zákona),
- bude-li požadováno, jeden výtisk této bakalářské*) práce bude uložen u vedoucího práce,
- s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 Autorského zákona,
- užít toto své dílo, nebo poskytnout licenci k jejímu využití, mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše),
- беру на ве́домі́, že – podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů – že tato bakalářská práce bude před obhajobou zveřejněna na pracovišti vedoucího práce, a v elektronické podobě uložena a po obhajobě zveřejněna v Ústřední knihovně VŠB-TUO, a to bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě dne 18. května 2020.



Podpis autora práce

Jméno a příjmení autora práce:

Martin Fryšák

Adresa trvalého pobytu autora práce:

Poděbradovo náměstí 8, 796 01 Prostějov.

ANOTACE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

FRYŠÁK, M. Svařování trubek v automobilovém průmyslu: bakalářská práce. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra mechanické technologie, 2009, 58 s. Vedoucí práce: Hlavatý, I. Bakalářská práce se zabývá technologií výroby tenkostěnných trubek v automobilové průmyslu. V úvodu je popsána současná metoda výroby tenkostěnných trubek v automobilovém průmyslu. Dále se práce zabývá studiem způsobů indukčního ohřevu při svařování a tepelném zpracování trubek, návrhu a provedení svarových spojů tenkostěnných trubek. V poslední části práce jsou vyhotoveny zkoušky svarových spojů a vyhodnoceny výsledky. Zhodnocení a celkové výsledky jsou uvedeny v závěru bakalářské práce.

ANNOTATION OF BACHELOR THESIS

FRYŠÁK, M. Welding of thin-walled tubes in the automotive industry: Bachelor Thesis. Ostrava: VŠB –Technical University of Ostrava, Department of Mechanical Technology, 2009, 58 p. Thesis head: Hlavatý, I. The bachelor thesis deals with current method of the production of thin-walled tubes in the automotive industry. Further it studies the methods of the induction heating during welding and heat treatment tubes as well as designs and the execution of welded joints of thin-walled tubes. The last part of the work contains the tests of welded joints and their results. The final evaluation and overall results are listed at the end of the thesis.

Seznam použitých značek a symbolů

Značka	Význam	Jednotka
A ₁	Eutektoidní teplota	[°C]
A _{c1}	Teplota počátku austenitické transformace při ohřevu	[°C]
A _{c3}	Teplota konce austenitické transformace při ohřevu	[°C]
HFRW	Vysokofrekvenční odporové svařování - 291	[-]
HV 0,1	Tvrdost dle Vickerse	[-]
HRC	Tvrdost dle Rockwella	[-]
U	Svařovací napětí	[V]
I	Svařovací proud	[A]
t	Tloušťka	[mm]
α	Úhel kompresní linie	[°]

Obsah

Úvod	1
1 Současný stav svařování trubek	2
1.1. Výroba trubek	2
2 Způsoby indukčního ohřevu při svařování a tepelné zpracování trubek.....	7
2.1. Způsob ohřevu při tepelném zpracování trubek.....	8
2.2. Žihání	10
2.3. Kalení.....	11
2.4. Popouštění.....	12
3 Návrh a provedení svarových spojů tenkostěnných trubek.....	13
4 Provedení zkoušek svarových spojů a vyhodnocení výsledků.....	17
4.1. Chemické analýzy trubek.....	17
4.2. Metalografické posouzení vzorků.....	18
4.3. Měření mikrotvrdostí vybraných oblastí svarových spojů.....	23
Diskuse dosažených výsledků	28
Závěr.....	28
Použitá literatura	29
Seznam obrázků	31
Seznam tabulek	32

Úvod

Bakalářská práce byla vypracována ve spolupráci s nadnárodní firmou vyrábějící dílce pro automobilový průmysl, která má více než sto letou historií. Tento přední světový výrobce začal s výrobou pružin a v dnešní době sériově vyrábí díly motoru, podvozkové díly, součásti karosérie, stabilizátory, pružiny a začínají s výrobou trubek na míru pro jejich účely. S nejrychleji a nejvíce se rozrůstající pobočkou, která je v Prostějově, byla vypracována tato bakalářská práce.

V teoretické části práce je popsán současný stav výroby tenkostěnných trubek, způsoby indukčního ohřevu při svařování a následné tepelné zpracování trubek. Dále byl proveden návrh a provedení daných svarových spojů. Na základě návrhu byla provedena a odzkoušena optimalizace jednotlivých parametrů svařování a následné přípravy vzorků leštěním a leptáním. Připravené vzorky byly hodnoceny z hlediska metalografického posouzení, doplněné o měření mikro tvrdosti vybraných míst.

Cílem práce bylo posouzení zhotovených svarových spojů a jejich vyhodnocení. Optimalizace parametrů svařování a následným zkoušením určilo vzorky s vyhovujícím výsledkem. Použitá technologie indukčního svařování ve výrobě tenkostěnných trubek vyžaduje dále optimalizovat procesy metalografického zkoušení ve velkosériové výrobě s cílem zrychlení a zkvalitnění výsledného produktu pro automobilový průmysl.

1 Současný stav svařování trubek

V dnešní době se výroba trubek dá považovat za automatizovanou výrobu, kde se využívá indukční ohřev při indukčním svařování, taky nazývaným vysokofrekvenčním svařováním. Jedná se o tlakovou metodu svařování, kde materiál je spojován bez použití přídavného materiálu. Obsluha svařovacích strojů a následného tepelné zpracování mají k dispozici programy, které umožňují přesné nastavení parametrů svařování a jednoduchou kontrolu teploty celého procesu.

Vyrábí se zde trubky o průměru od 25 mm po 41 mm s tloušťkou stěny od 3 mm do 6 mm. Využívá se zde materiál 26MnB5 a 34MnB5.

1.1. Výroba trubek

Výrobu trubek lze rozdělit na tři procesy: proces tvářecí, svařovací a tepelné zpracování. Trubky jsou vyráběny z plechu, který je tvářen za studena pomocí válců na danou toleranci rovinnosti a následně indukčně svařen.

Svítek plechu se usadí na buben s kleštinami, který je následně zaveden mezi rovnací válce viz obrázek 1. [1]



Obrázek 1 Válcovna plechu

Po narovnání plechu je konec první cívky plechu a začátek druhé cívky svařen k sobě a tím dochází k vytváření „nekonečného pásu plechu“ viz obrázek 2.



***Obrázek 2** Svařování konců plechů*

Tento „nekonečný pás plechu“ pokračuje do zakružovacího stroje viz obrázek 3, který zajišťuje zakružování plechu viz obrázek 4. Zde je plech zakružen podle přesně stanovených parametrů (např.: úhel svíraný konců plechu, vnitřní průměr trubky apod.). Tímto procesem vzniká polotovár ve tvaru trubky, který je připraven na svařování viz obrázek 5. [1]



Obrázek 3 Zakružovací stroj



Obrázek 4 Začátek ohýbání plechu



Obrázek 5 Polotovar trubky

Z ohýbacího stroje pokračuje polotovar přímo na linku, kde dochází k jeho svaření viz obrázek 6 a obrázek 7. Plech je přidržován tzv. rolnami, které přitlačují plech ohnutý do tvaru trubky v průběhu svařování. Hned po svaření jsou obrobny a zbaveny výronku.



Obrázek 6 Svařovací linka



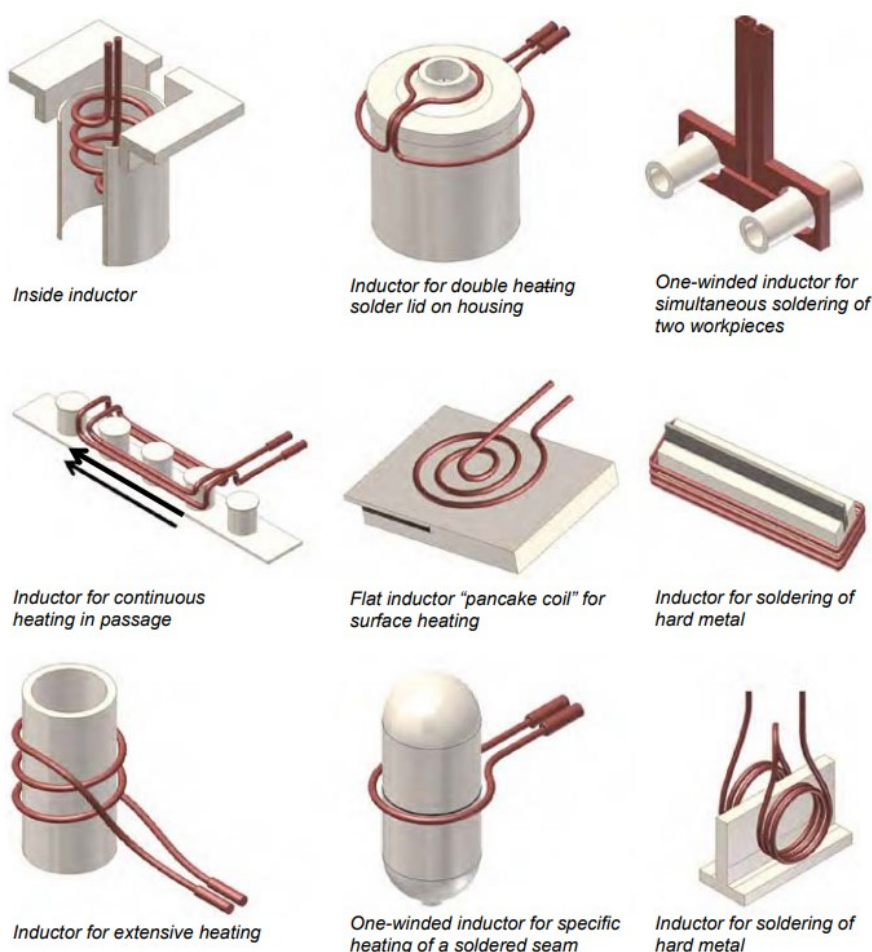
Obrázek 7 Indukční svařování [10]

Po svaření jsou trubky ukládány do balíku s označením šarže a následně jsou umístěny ve skladě. Následně jsou trubky tepelně zpracovány kalením, žíháním a popouštěním.

2 Způsoby indukčního ohřevu při svařování a tepelné zpracování trubek

Indukční ohřev se řadí mezi přímé elektromagnetické metody ohřevu. Pro elektromagnetickou metodu je charakteristické, že energie v podobě tepla je vygenerována přímo v dané součásti, která je takto ohřívána. Tento způsob ohřevu se používá zejména pro vysoce vodivé materiály (tj. kovy), ale také lze indukovat málo vodivé materiály jako sklo nebo oxidy. Cívka je vyrobena z mědi a napájena definovaným proudem o stanovené frekvenci. Materiál prochází cívkami, které vytváří vysokofrekvenční magnetické pole, jenž indukuje vířivé proudy v kovovém materiálu a tím zajišťuje ohřev. V materiálu vzniká tzv. skinefekt.

Tímto způsobem je zajištěn bezkontaktní ohřev ve velkém rozsahu parametrů. Díky generátorům, se kterými lze vygenerovat od nízkých frekvencí až po vysoké frekvence, je možné zajistit požadovanou teplotu pro ohřev součástí. K výhodám této metody svařování patří: vysoká tepelná účinnost, dosažení rychlého ohřevu, jednoduchou kontrolu a měření dodávané energie pro ohřev, snadná změna frekvence, možnost použití metody v běžném prostředí (není nutná speciální atmosféra, vakuum apod. [2, 3, 4])



Obrázek 8 Typy ohřívání cívkami [11]

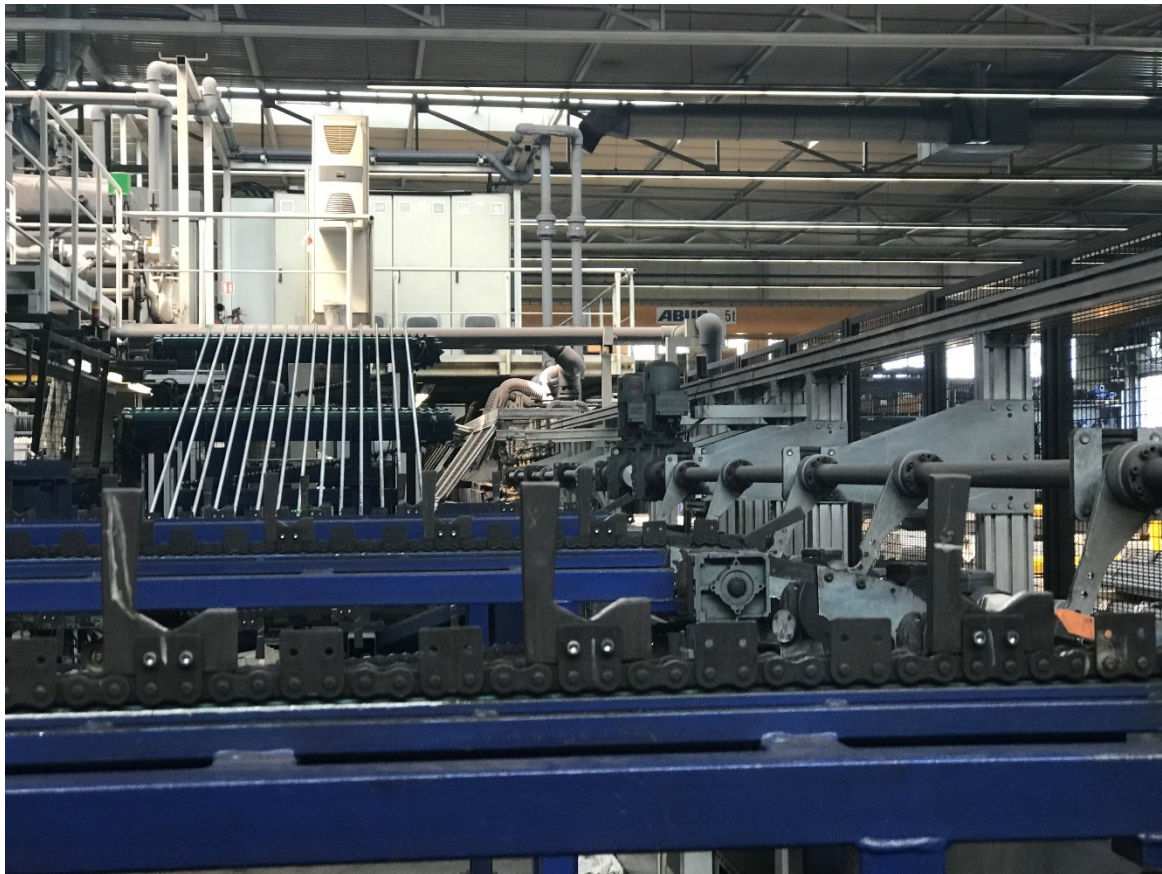
2.1. Způsob ohřevu při tepelném zpracování trubek

K ohřevu trubek je používána automatická linka, která je složena z několika cívek viz obrázek 9, které je postupně ohřívají k zušlechťení. Ohřívat a zušlechťovat lze trubky, tyče nebo dráty na pružiny a jiné výrobky pro automobilový průmysl. Materiál ke zpracování (zušlechťování) se vloží do zásobníku a dle potřebného tepelného zpracování obsluha nastaví program. Ze zásobníku se materiál postupně je dávkován a postupuje pomocí dopravníku přes cívky a postupně se zahřívá na danou teplotu.



Obrázek 9 Indukční ohřev

Po ohřevu se materiál ochlazuje ve vodní lázni a postupuje na odkapávač (sušičku). V případě trubek je za potřeby materiál sušit pod určitým úhlem viz obrázek 10, aby voda uvnitř mohla vytéct a předejít tak korozi. V dalším kroku může být zařazeno zušlechťování. Díky vysoké teplotě povrchu trubek dochází k okamžitému vysušení materiálu a následnému označení šarže a transportu do skladu.



Obrázek 10 Odkapávač

2.2. Žihání

Žihání je jeden z druhů tepelného zpracování, kde polotovary jsou ohřívány na danou teplotu, kde je setrváno a následně pomalu ochlazeno. Cílem této operace je stabilizovat strukturu a odstranit vlivy předchozích operací. Žiháním lze zjemnit strukturu, snížit tvrdost, obnovit deformovaná zrna, snížit vnitřní pnutí atd. Žihání lze zařadit jako finální operaci tepelného zpracování, může být ovšem zařazena jako mezi operační.

Žihání lze rozdělit na:

- Žihání bez překrystalizace.
- Žihání s překrystalizací.
- Žihání autenitických ocelí.

Dále pak lze dělit žihání bez překrystalizace na:

- Žihání ke snížení pnutí.
- Rekrystalizační žihání.
- Žihání na měkko.

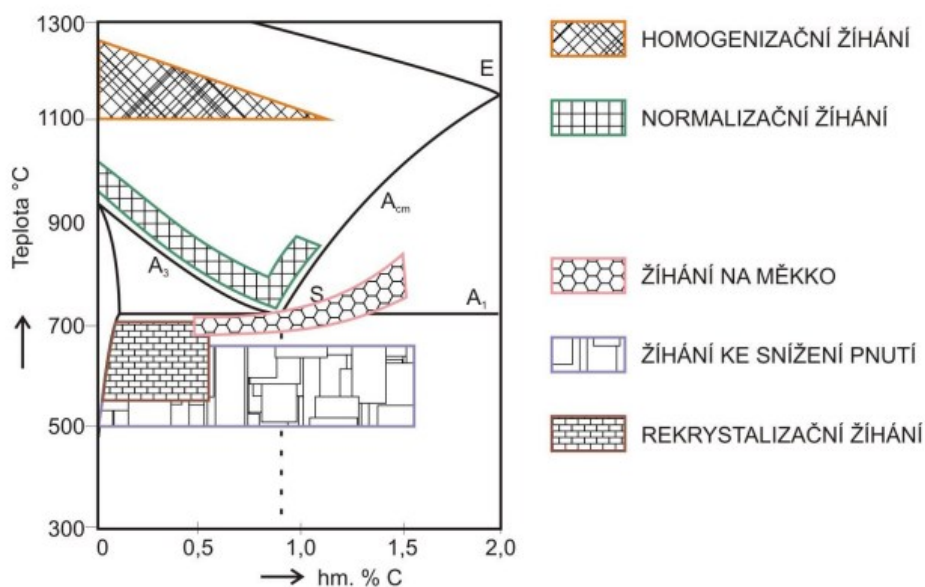
Žihání s překrystalizací lze také dělit na:

- Homogenizační žihání.
- Normalizační žihání.
- Izotermické žihání.

Žihání austenitických ocelí lze rozdělit na:

- Rozpouštěcí žihání.
- Stabilizační žihání. [5, 6]

Přehled způsobů žihání lze vidět na obrázku 11.



Obrázek 11 Schéma jednotlivých žihacích operací [5]

2.3. Kalení

Kalení je proces, kdy materiál je zahřát na teplotu pro kalení a prudce ochlazen ve vodě, v oleji, v solné lázni nebo vzduchem. Kalením zvyšujeme tvrdost, ale je naopak křehčí. Kalit lze perlitické oceli s obsahem uhlíku nad 0,22 hm.%, nebo nízkolegované nebo mikrolegované oceli. Po kalení vzniká martenzitická nebo bainitická struktura. [5, 7]

Kalení lze dělit na:

- Martenzitické kalení.
- Bainitické kalení.

Martenzitické kalení lze dále dělit na:

- Nepřetržité.
- Přetržité.

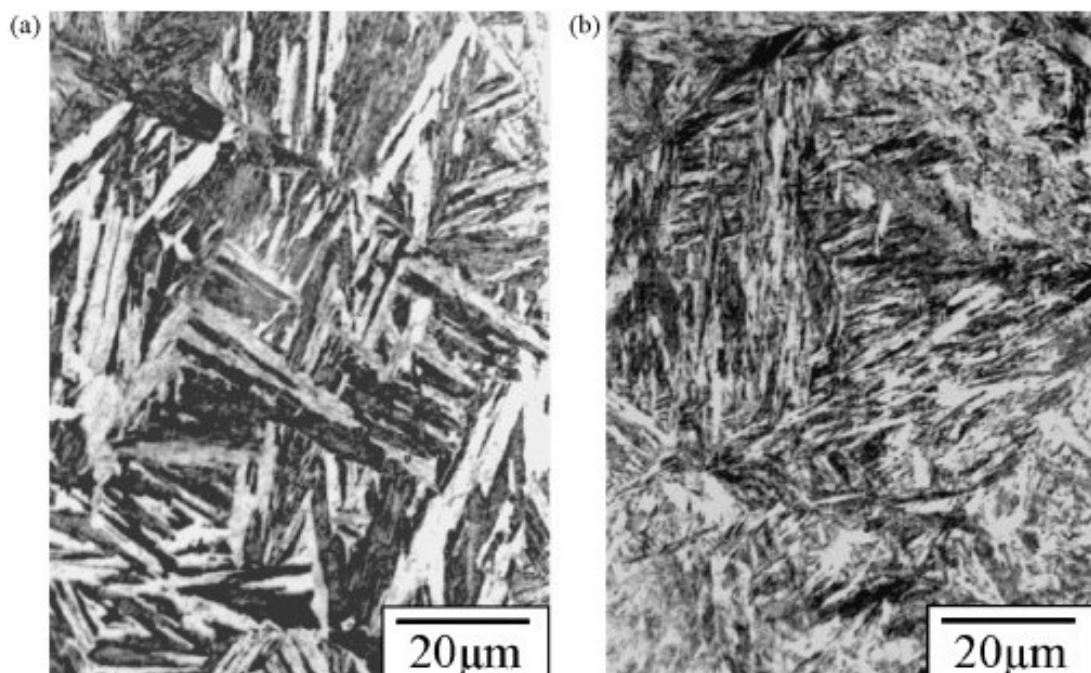
Přetržité lze dále rozdělit na:

- Lomené.
- Termální.
- Se zmrazováním.

Bainitické kalení lze pak rozdělit na:

- Izotermické.
- Nepřetržité. [5, 7]

U martenzitické přeměny dosahujeme vyšší tvrdosti než u bainitické. Bainitická přeměna se může lišit strukturou: horní bainit, nebo dolní bainit. Mikrostrukturu těchto fázových přeměn můžeme vidět na obrázku 12. [8]



Obrázek 12 Mikrostruktura a) bainit b) martenzit [12]

2.4. Popouštění

Popouštění je proces, který se realizuje ve většině případů ihned po kalení nebo jakémkoliv jiném tepelném zpracování, kdy se vrací polotovaru houževnatost, snižuje se vnitřní pnutí a tvrdost. Velikost změn jsou závislé na teplotě a době popouštění. Ohřev se realizuje do teploty A_1 . [5]

Popouštění lze rozdělit z technologického hlediska na:

- Nízkoteplotní.
- Vysokoteplotní. [5]

3 Návrh a provedení svarových spojů tenkostěnných trubek

Cílem této práce je optimalizace procesu svařování tenkostěnných trubek s následným prováděním jejich kontrol. K současnému požadavku patří i efektivnější příprava vzorků pro vyhodnocování metalografického posouzení svarových spojů viz obrázek 19 a 20. Na panelu přístroje viz obrázek 17 bylo možné nastavit: rychlost průtoku, čas leštění a leptání, napětí pro leštění a leptání.

Vzorky byly připraveny z materiálů dle tabulky 1, které byly svařeny bez následného tepelného zpracování. Elektrolytické leštění a leptání bylo provedeno na elektrolytické leštičce Kristall 680 od firmy Metalco material testing viz obrázek 13.



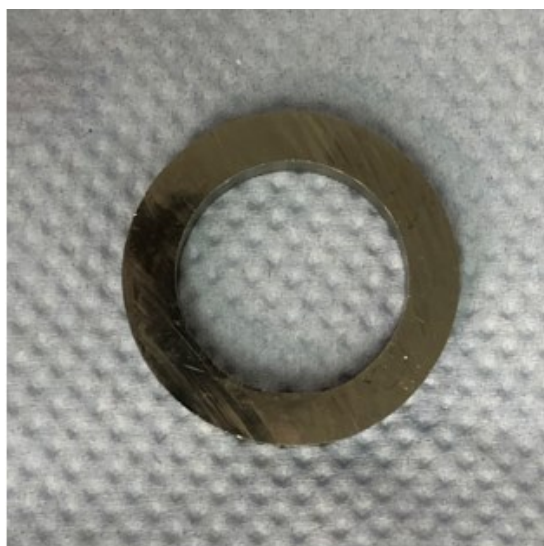
Obrázek 13 Elektrolytická leštička

Trubky byly nařezány na rozbrušovací pile viz obrázek 14 v podobě prstýnků viz obrázek 15 s výškou 5-6 mm.

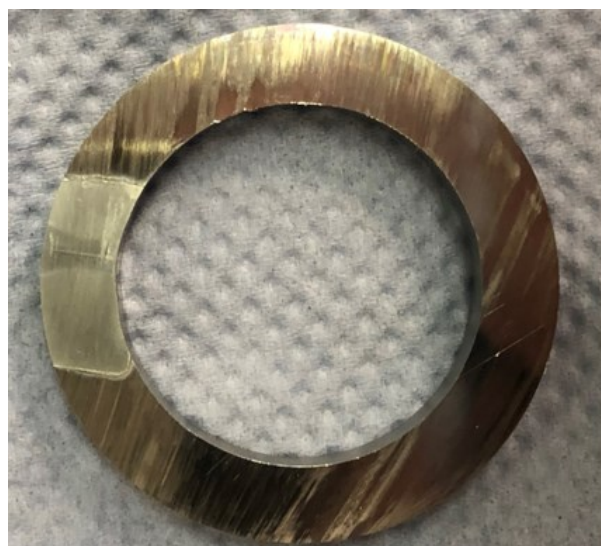


Obrázek 14 Rozbrušovací pila

Vzorky byly po uřezání vyjmuty, umyty od hrubých nečistot vodou, vyčištěny technickým lihem od emulze a následně vysušeny stlačeným vzduchem nebo fénem.

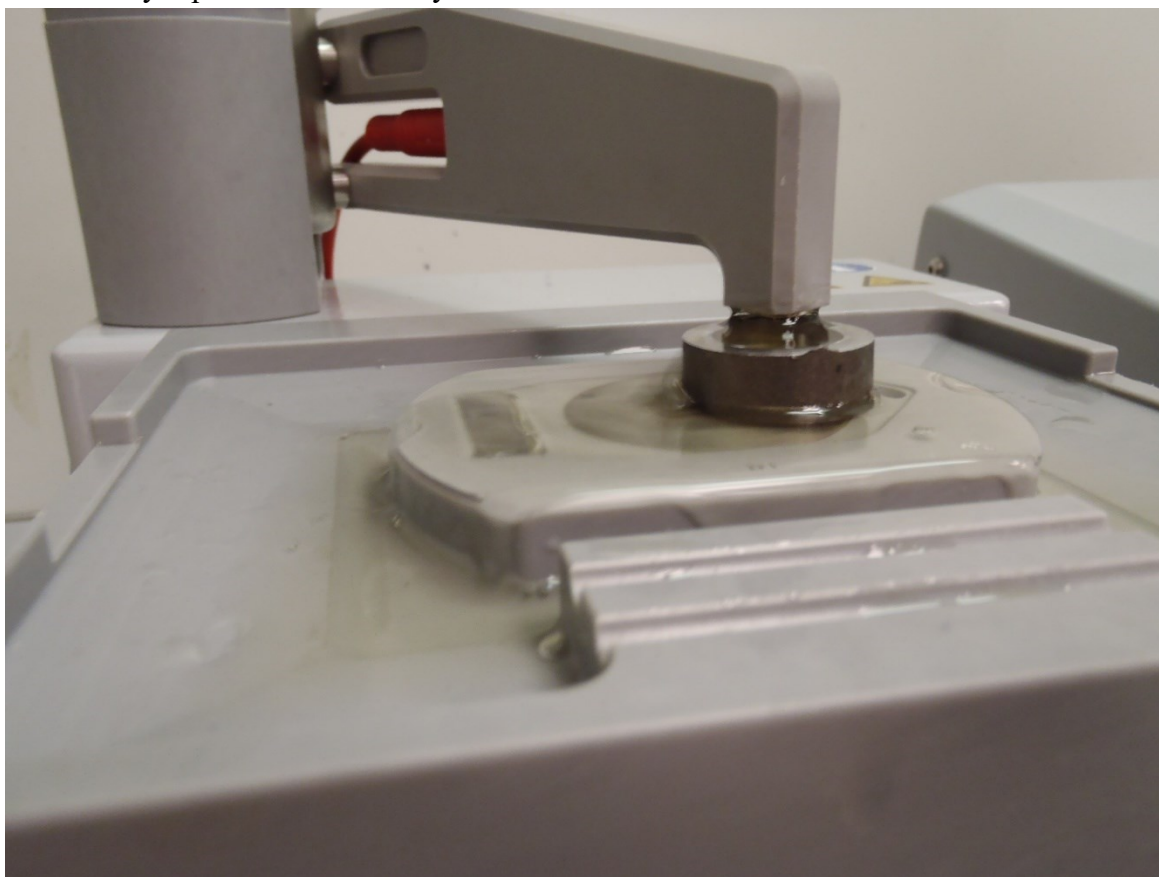


Obrázek 15 Vzorek (před leptáním)



Obrázek 16 Vzorek (po leptání)

Dále bylo provedeno elektrolytické leštění vzorků viz obrázek 17.

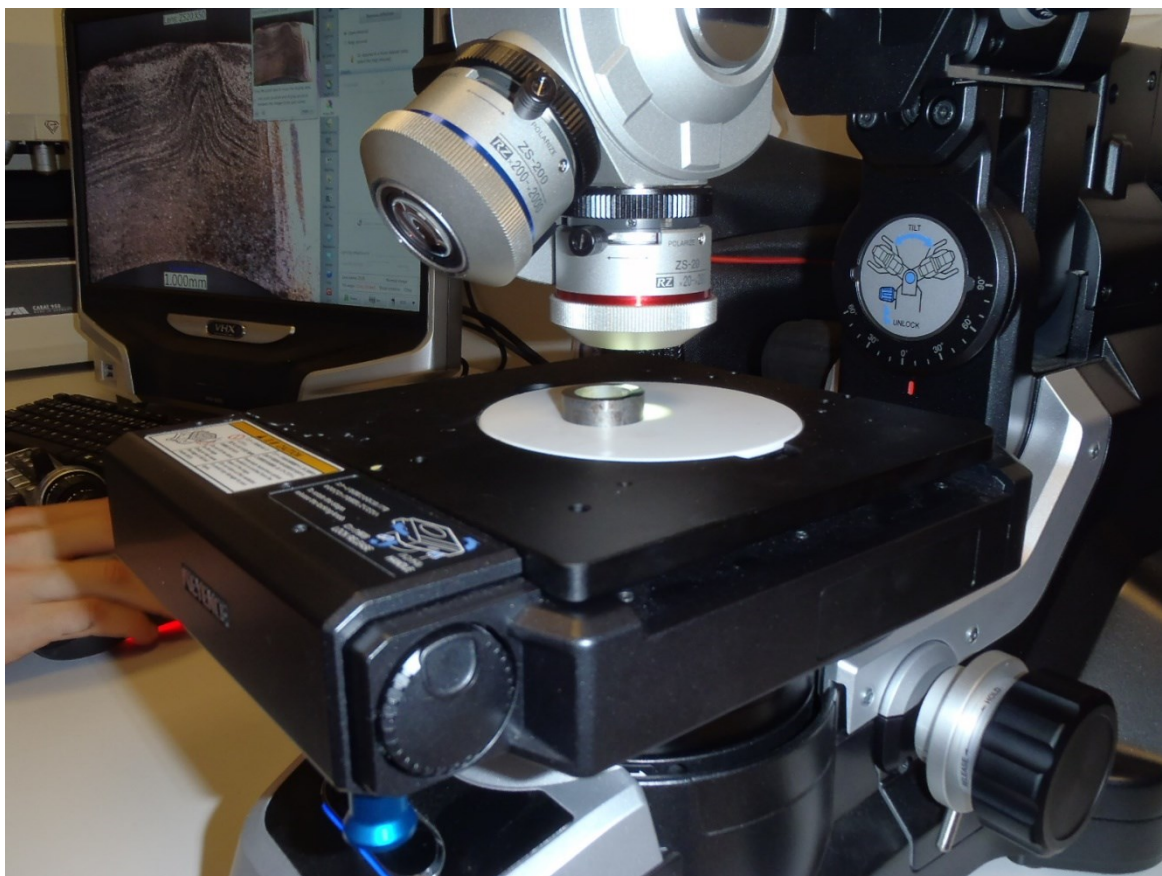


***Obrázek 17** Elektrolytické leštění*

Dále k uvážení bylo potřeba: stáří elektrolytu, znečištění elektrolytu, teplota elektrolytu.

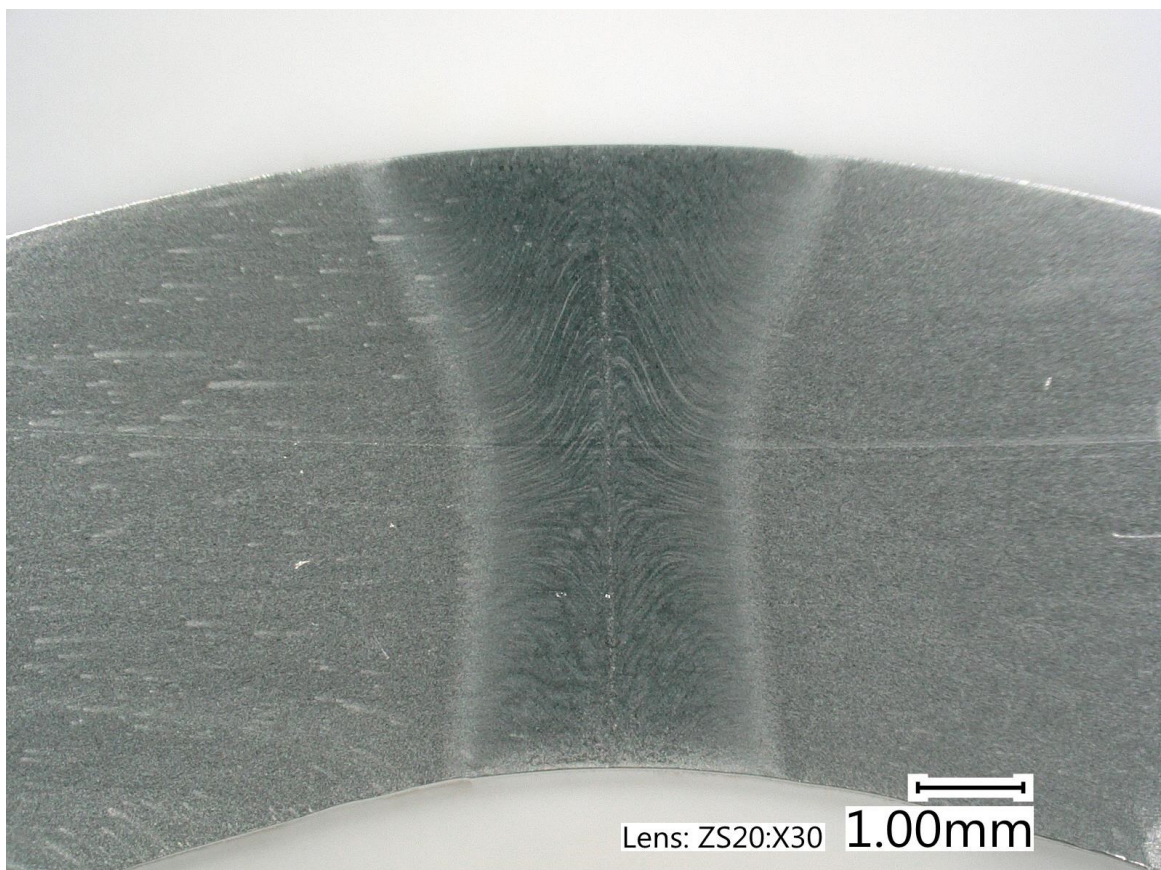


***Obrázek 18** Panel pro řízení leštičky*



Obrázek 19 Vzorek pod mikroskopem

Na obrázku 20 je ukázána nejlepší výsledná fotografie z mikroskopu (vzorek č.90), která byla následně vyhodnocena.



Obrázek 20 Makrostruktura vzorku (vzorek č.90)

4 Provedení zkoušek svarových spojů a vyhodnocení výsledků

Jednotlivé vzorky trubek byly podrobeny zkouškám:

- Chemickému složení trubek.
- Metalografickému posouzení.
- Měření mikro tvrdostí vybraných oblastí svarových spojů.

4.1. Chemické analýzy trubek

V tabulce 1 jsou uvedeny chemické analýzy trubek, které jsem dohledal v lexikonu materiálů.

Tabulka 1 Chemické analýzy trubek materiálů 34MnB5 a 26MnB5

34MnB5:

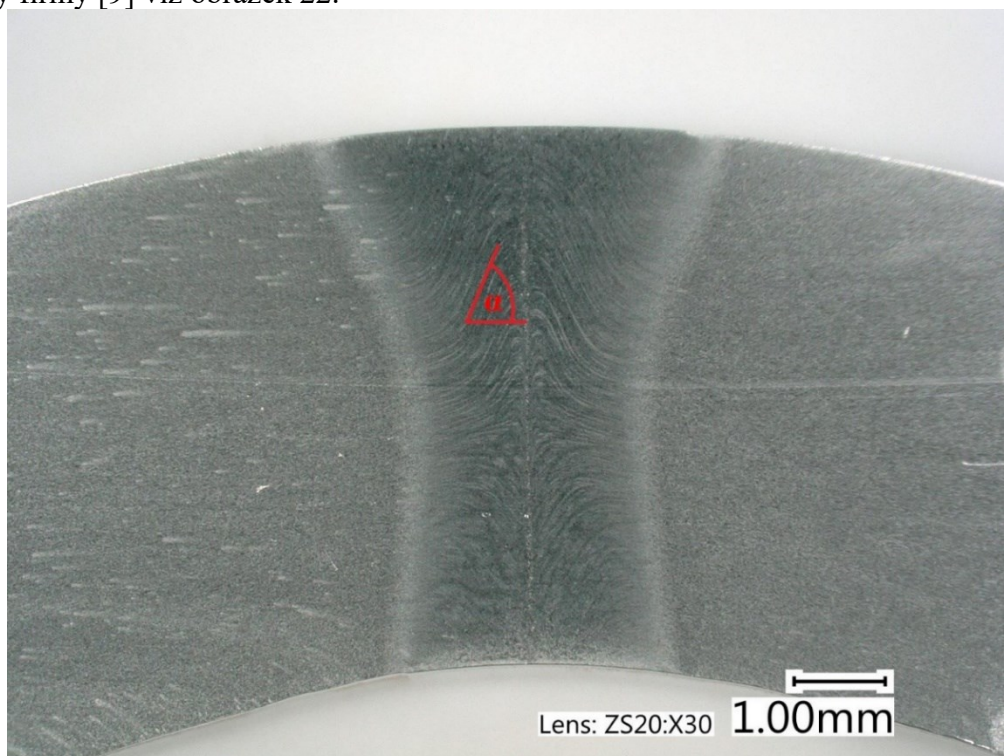
chemické složení 34MnB5										
	C	Si	Mn	P	S	Al	N	Cr	Ti	B
min. hm. %	0,33	0,15	1,15	-	-	0,015	-	0,05	0,015	0,0015
max. hm. %	0,37	0,35	1,45	0,020	0,010	0,060	0,010	0,20	0,060	0,0045

26MnB5:

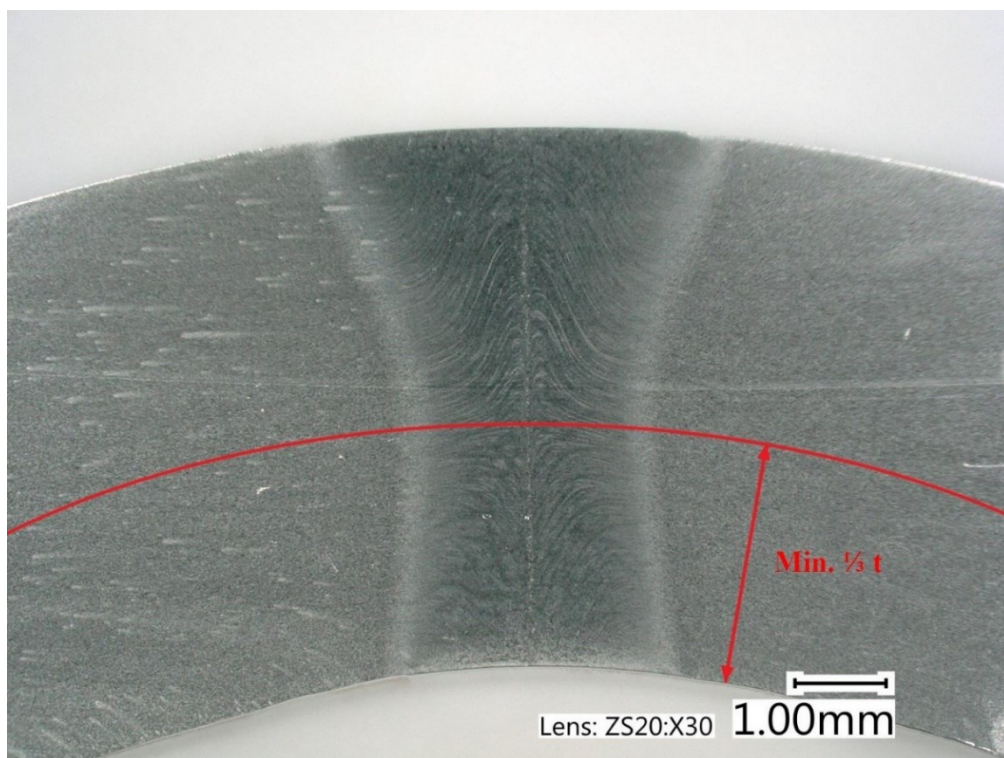
chemické složení 26MnB5										
	C	Si	Mn	P	S	Al	N	Cr	Ti	B
min. hm. %	0,23	0,15	1,10	-	-	-	-	0,10	0,015	0,0015
max. hm. %	0,27	0,35	1,40	0,023	0,010	0,080	0,010	0,25	0,045	0,0040

4.2. Metalografické posouzení vzorků

Bylo zhotoveno celkem 110 vzorků. Byl hodnocen úhel a výška kompresních linií. Kompresní linie musí být pod úhlem α , kde správná hodnota se pohybuje v rozmezí 40-80° viz obrázek 21 dle interní normy firmy [9]. Dále byla hodnocena výška středu kompresních linií, jenž musí být ve výšce minimálně 1/3 tloušťky od vnitřního průměru trubky dle interní normy firmy [9] viz obrázek 22.

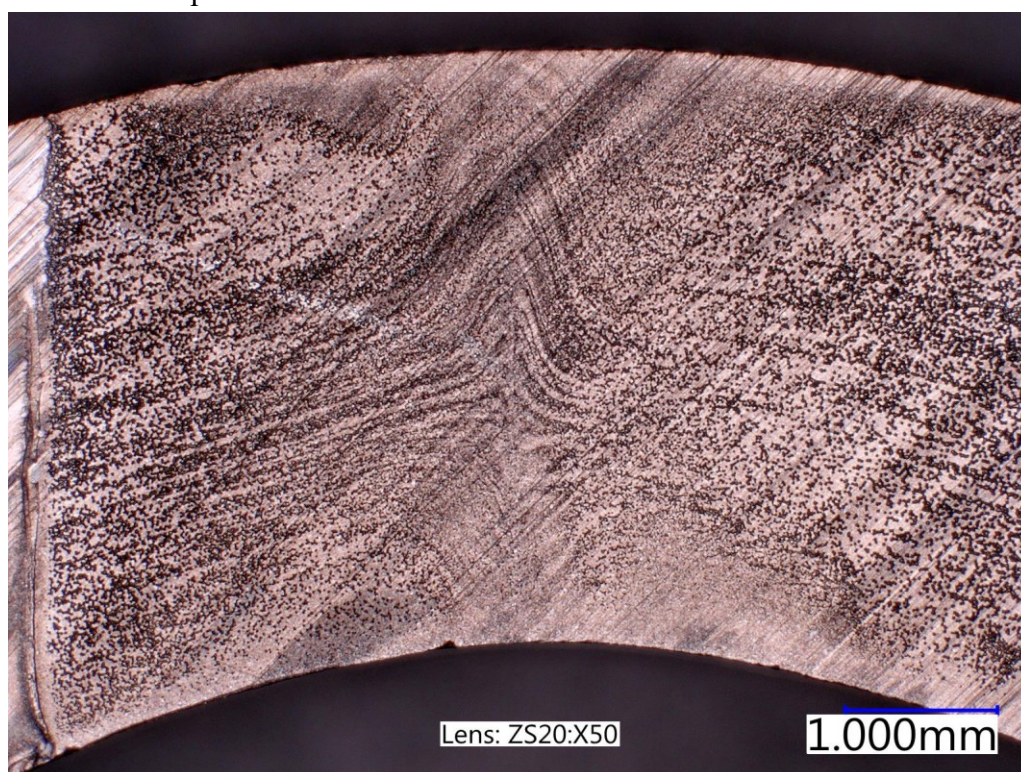


Obrázek 21 Hodnocení úhlu kompresních linií

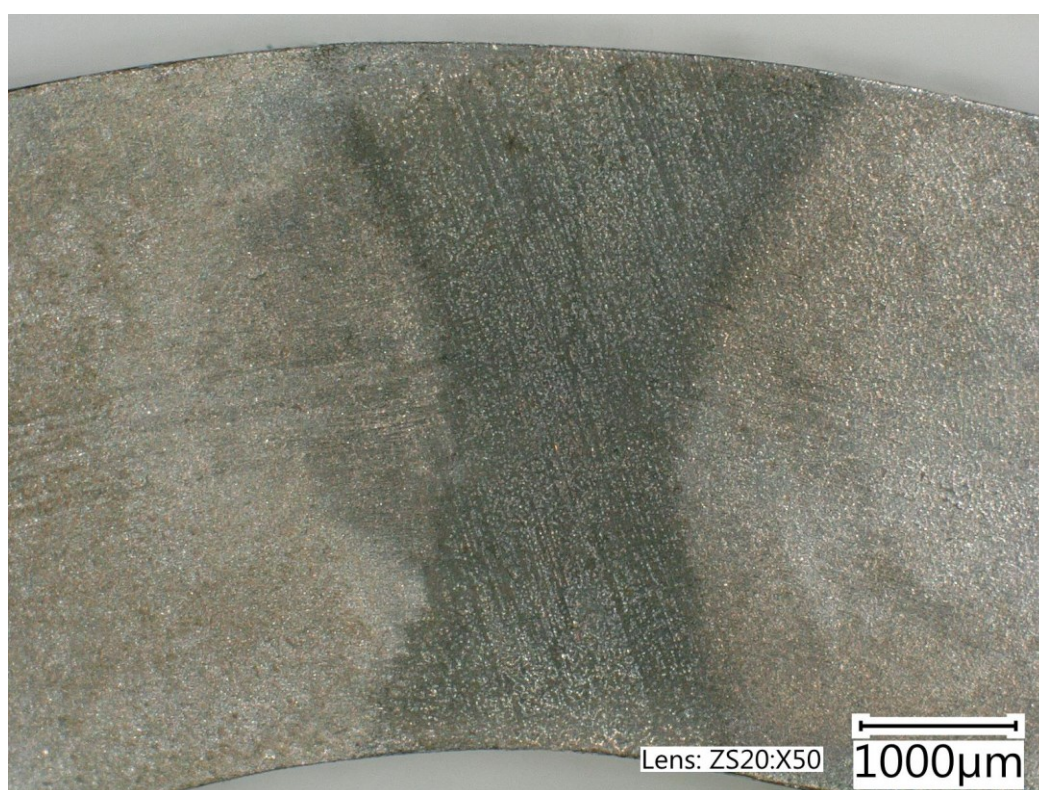


Obrázek 22 Hodnocení výšky středu kompresních linií

Vzorek č.20 (obrázek 23) vykazuje lehce viditelné kompresní linie. Vzorek je nedoleštěn a nedoleptán.



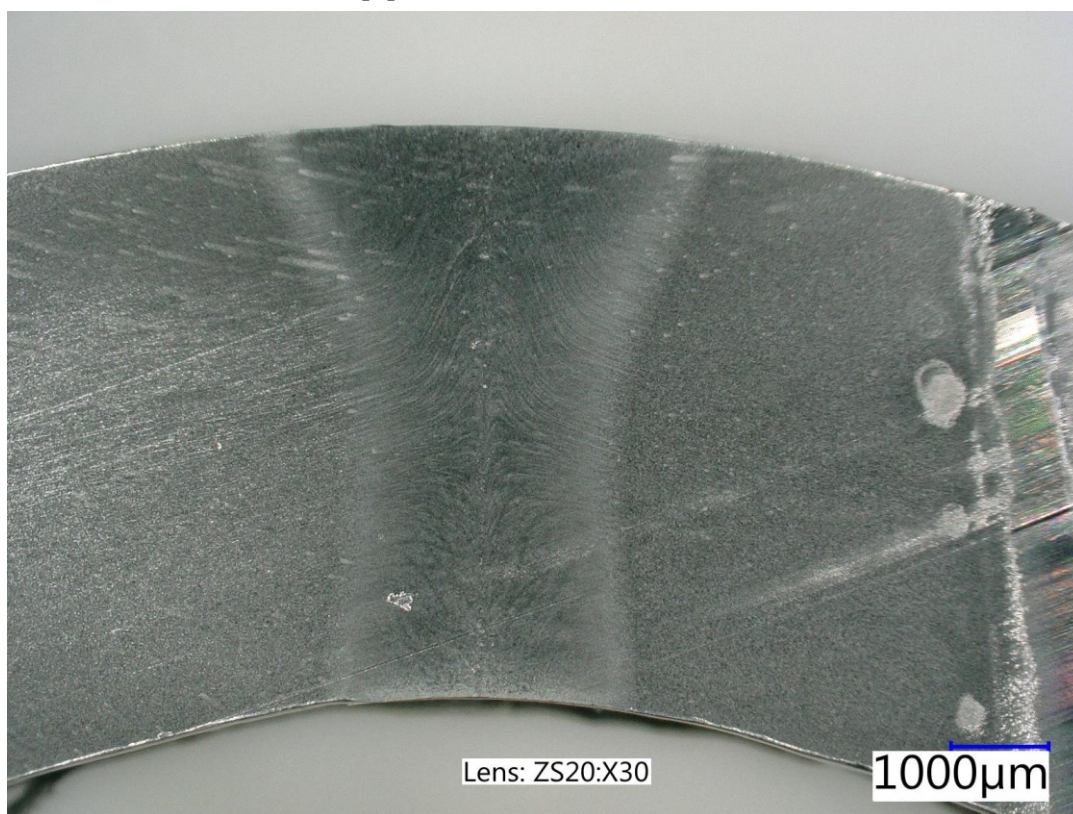
Obrázek 23 Vzorek č.20 po elektrolytickém leštění



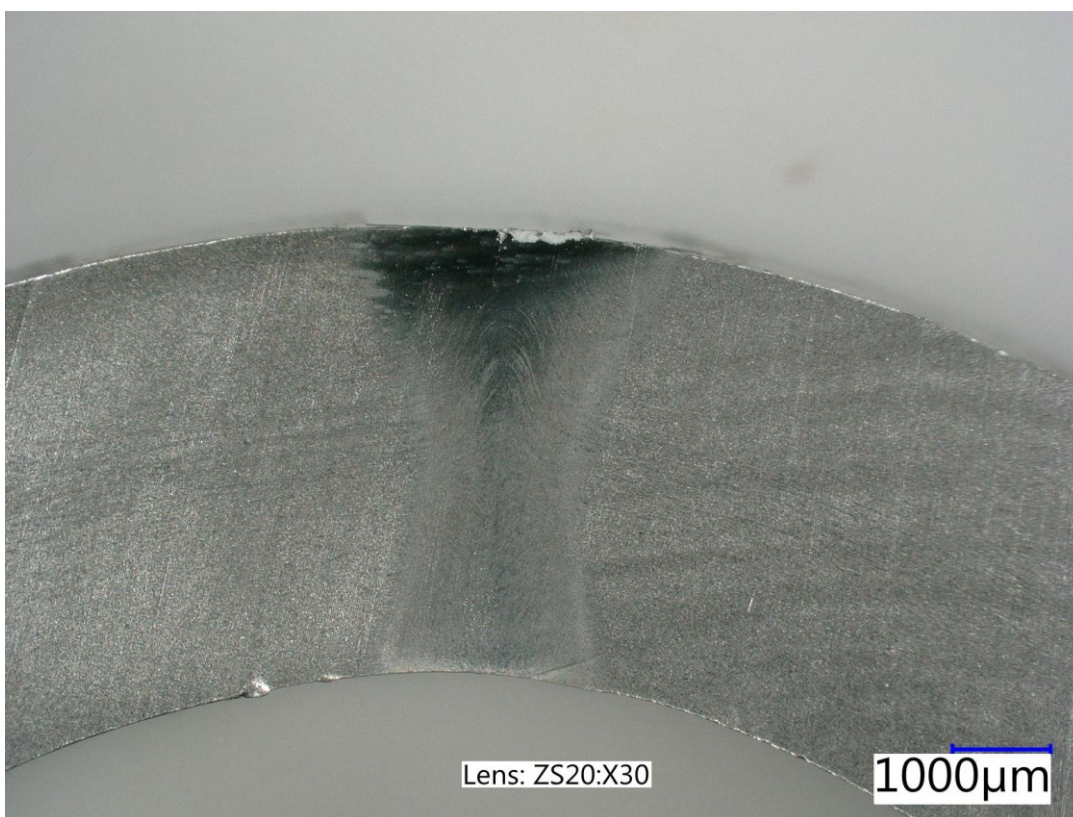
Obrázek 24 Vzorek č. 78 po elektrolytickém leštění

Vzorek č.78 (obrázek 24) nevykazuje žádné kompresní linie. Vzorek je nenaleptán.

Vzorek č.60 (obrázek 25) vykazuje viditelné kompresní linie. Vzorek lze podrobit zkouškám dle interních norem.[9]



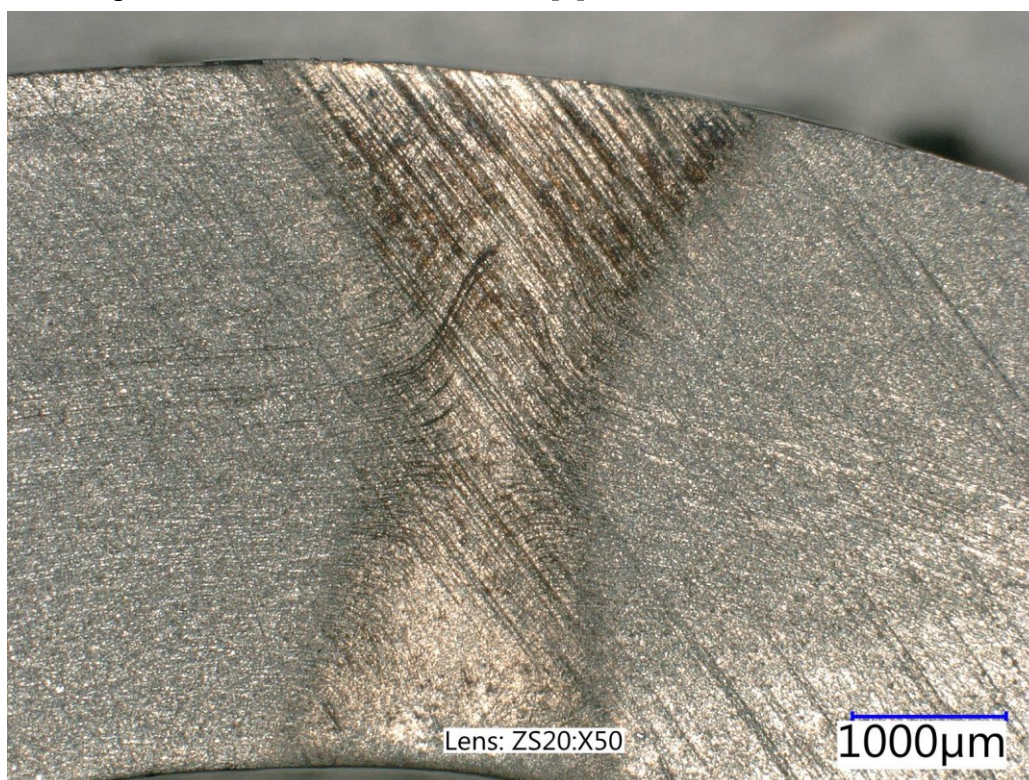
Obrázek 25 Vzorek č.60 po elektrolytickém leštění



Obrázek 26 Vzorek č.61 po elektrolytickém leštění

Vzorek č.61 (obrázek 26) vykazuje částečné kompresní linie. Vzorek je přeleptán na horní půlce vzorku a nedoleptán na spodní části.

Vzorek č.75 (obrázek 27) vykazuje částečné kompresní linie, není ale možné provést kontrolu kompresních linií dle interních norem.[9]



Obrázek 27 Vzorek č.75 po elektrolytickém leštění



Obrázek 28 Vzorek č.95 po elektrolytickém leštění

Vzorek č.951 (obrázek 28) nevykazuje kompresní linie. Vzorek je přeleštěn a nedoleptán.

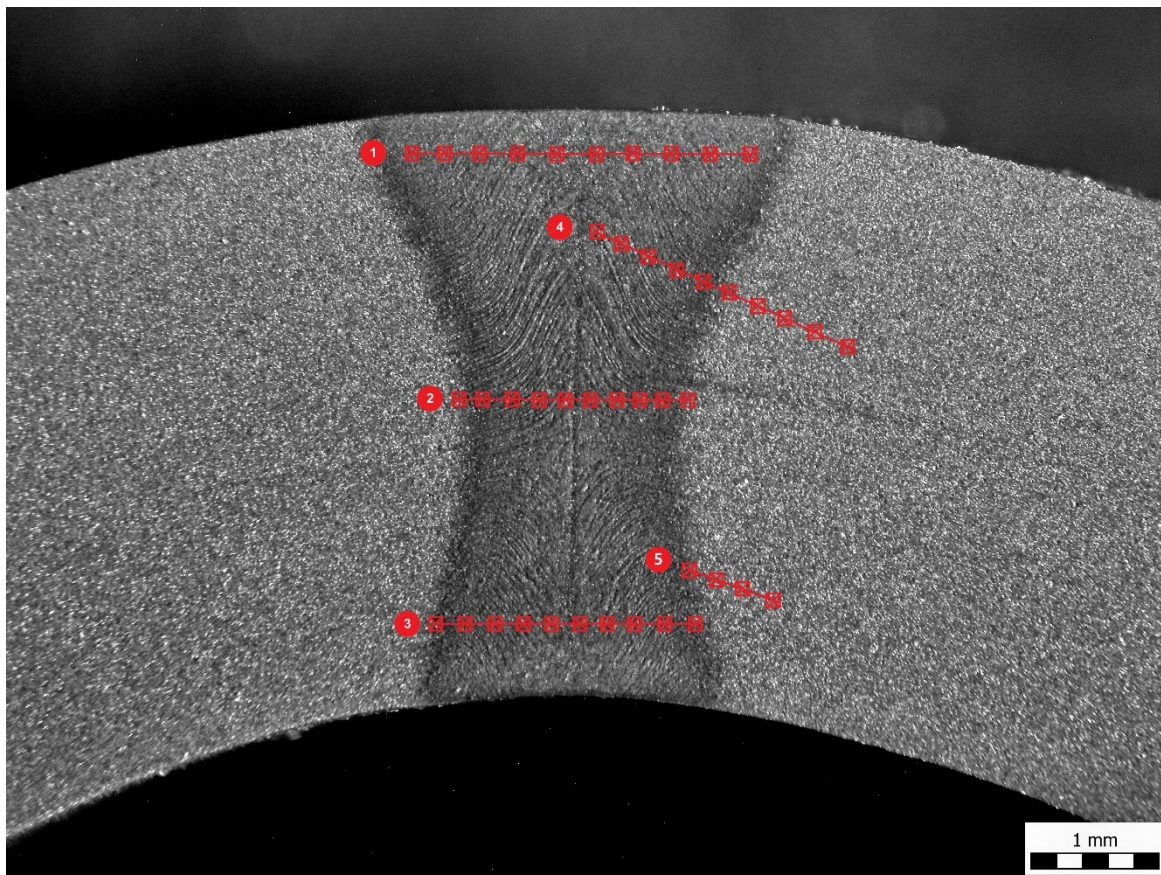
Vzorek č.92 (obrázek 29) vykazuje viditelné horní kompresní linie, spodní linie jsou lehce viditelné. Vzorek nelze podrobit zkouškám.



Obrázek 29 Vzorek č.92 po elektrolytickém leštění

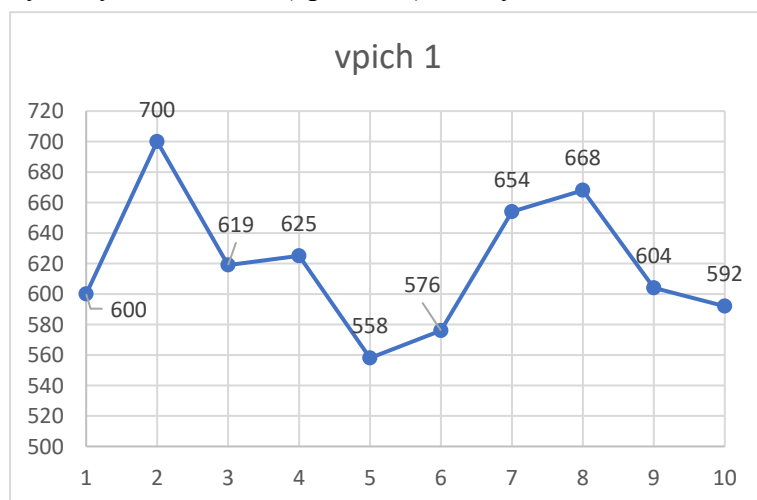
4.3. Měření mikrotvrdotí vybraných oblastí svarových spojů

Pro posouzení mikro tvrdosti HV0,1 byly provedeny linie měření dle obrázku 30. Vpichy byly ve vzdálenosti 0,1mm.



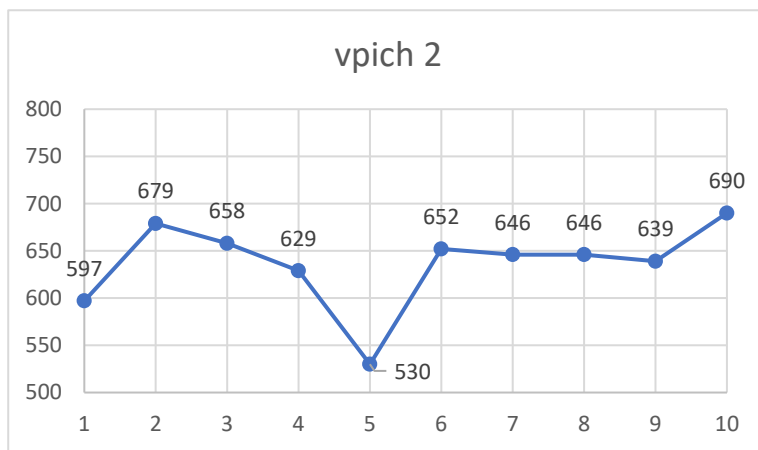
Obrázek 30 Měření mikro tvrdosti ve vybraných oblastech svar. spoje

Na obrázku 31-35 jsou znázorněny výsledky měření mikro tvrdostí HV 0,1 ve vybraných oblastech (vpich 1-5) trubky $\varnothing 31 \times 4,6$ mm 34MnB5.



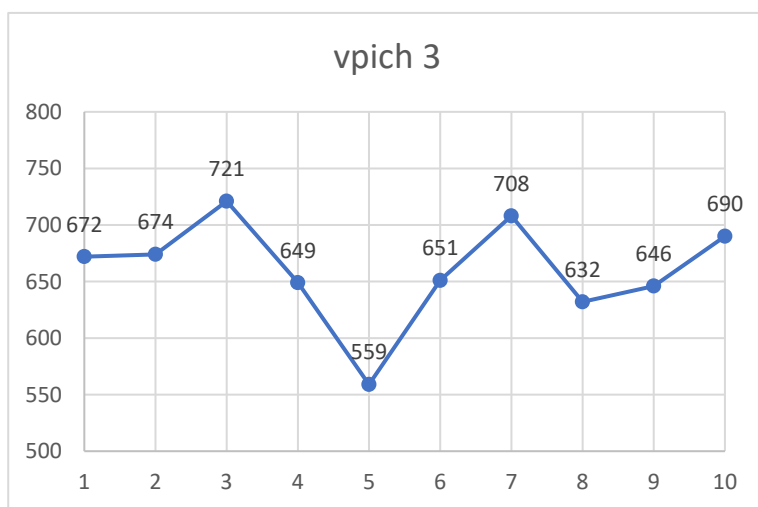
	HV 0,1	HRC
1	600	55,3
2	700	60,1
3	619	56,3
4	625	56,6
5	558	52,8
6	576	54
7	654	58
8	668	58,7
9	604	55,5
10	592	54,8

Obrázek 31 Měření mikro tvrdostí HV 0,1 "vpich 1"



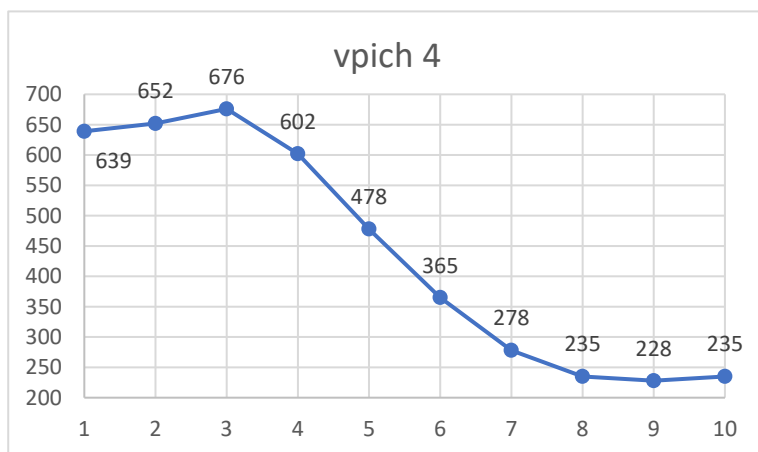
Obrázek 32 Měření mikro tvrdostí HV 0,1 "vpich 2"

	HV 0,1	HRC
1	597	55,1
2	679	59,2
3	658	58,2
4	629	56,8
5	530	51,1
6	652	58
7	646	57,6
8	646	57,6
9	639	57,3
10	690	59,7



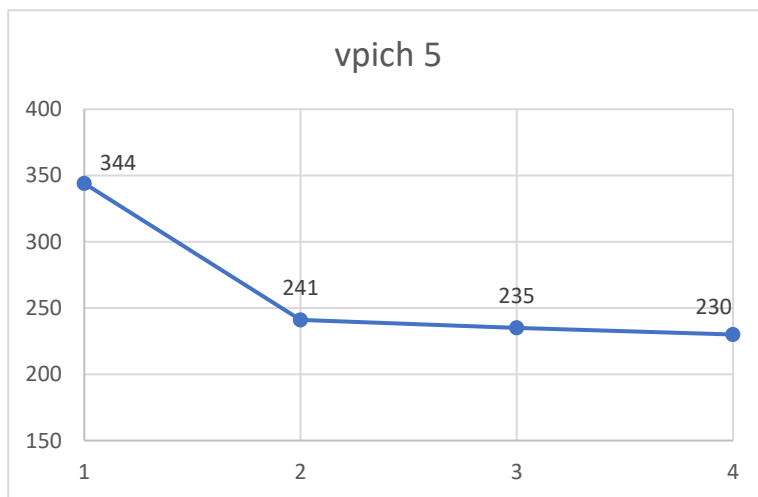
Obrázek 33 Měření mikro tvrdostí HV 0,1 "vpich 3"

	HV 0,1	HRC
1	672	58,9
2	674	59
3	721	61
4	649	57,8
5	559	52,9
6	651	57,9
7	708	60,5
8	632	56,9
9	646	57,7
10	690	59,7



Obrázek 34 Měření mikro tvrdostí HV 0,1 "vpich 4"

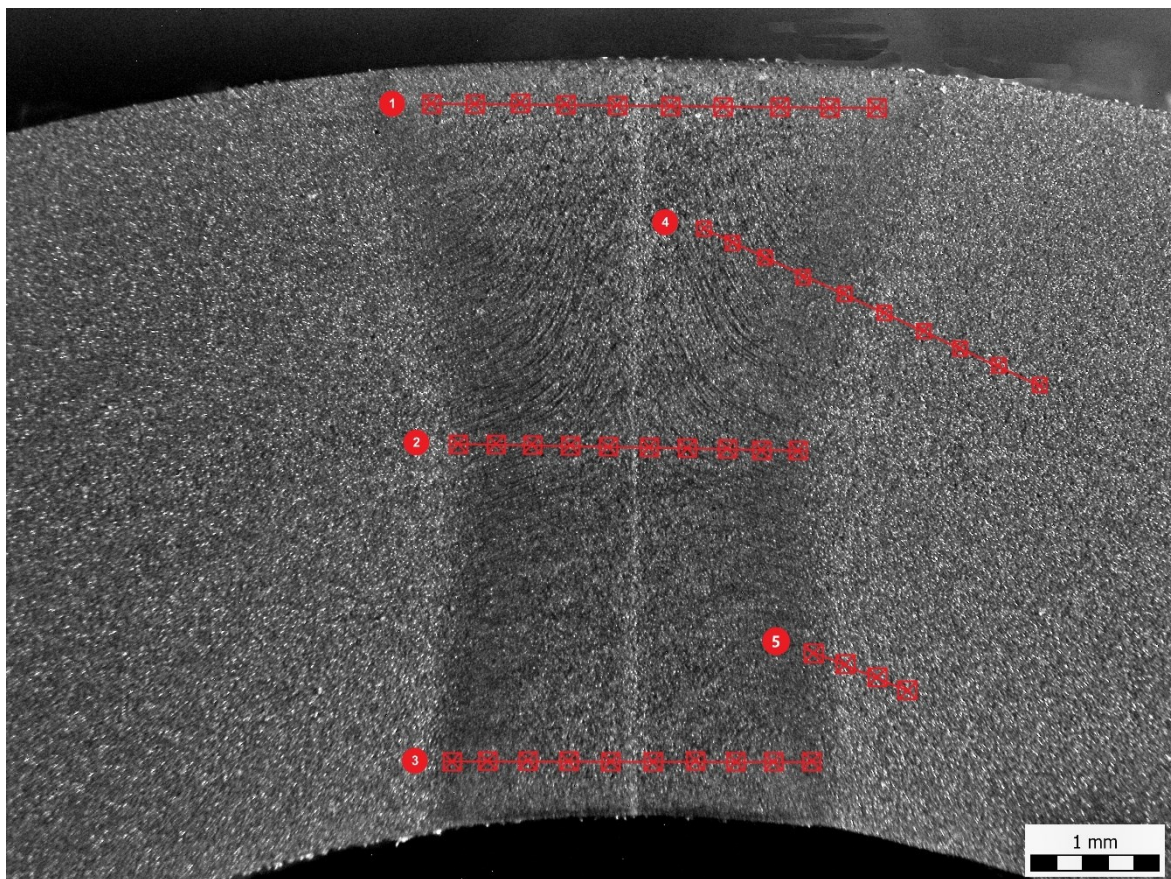
	HV 0,1	HRC
1	639	57,3
2	652	57,9
3	676	59,1
4	602	55,4
5	478	47,5
6	365	36,3
7	278	26,8
8	235	22,7
9	228	22
10	235	22,7



	HV 0,1	HRC
1	344	34,9
2	241	20,5
3	235	20
4	230	19,5

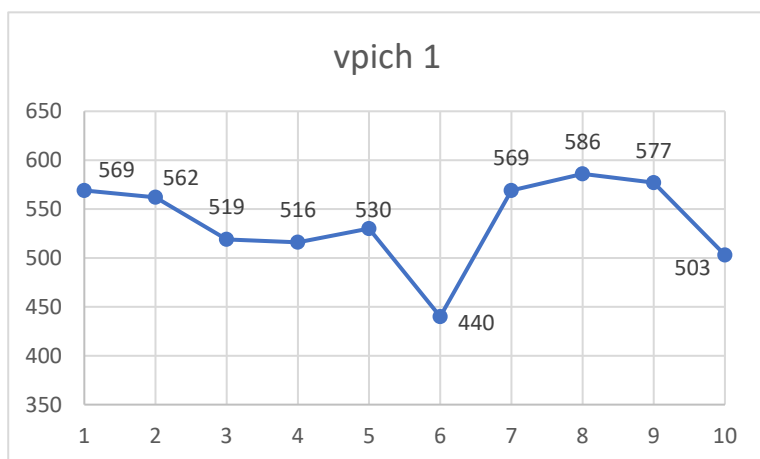
Obrázek 35 Měření mikro tvrdostí HV 0,1 "vpich 5"

Pro posouzení mikro tvrdosti HV0,1 byly provedeny linie měření dle obrázku 36. Vpichy byly ve vzdálenosti 0,1mm.



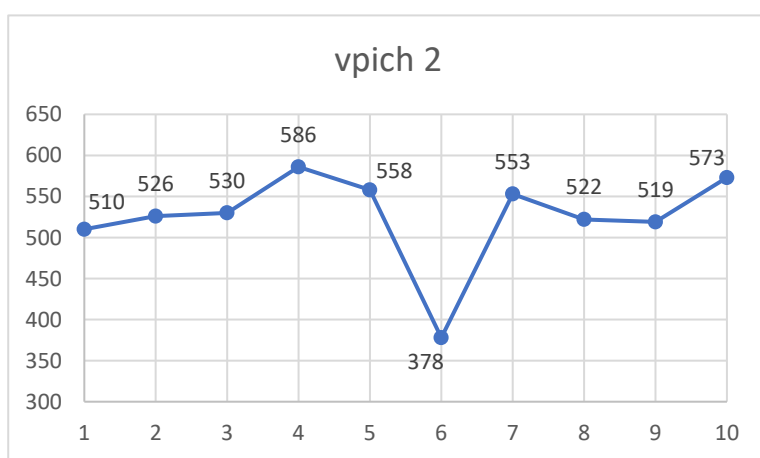
Obrázek 36 Měření mikro tvrdosti ve vybraných oblastech svar. spoje

Na obrázku 37-41 jsou znázorněny výsledky měření mikro tvrdostí HV 0,1 ve vybraných oblastech (vpich 1-5) trubky $\varnothing 41 \times 5,9$ mm 26MnB5.



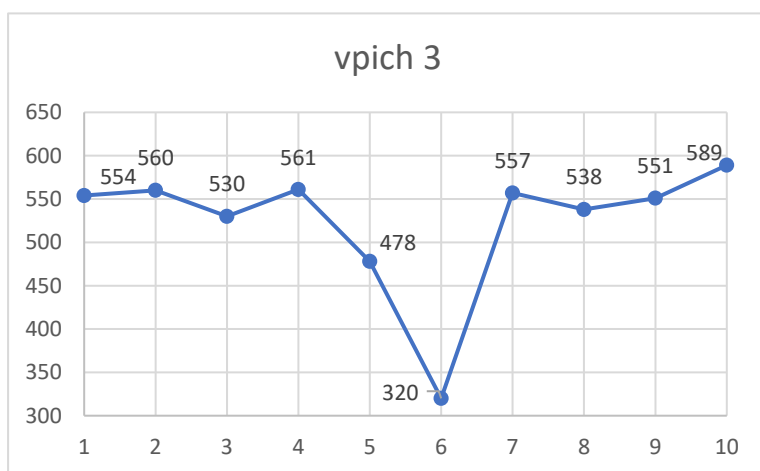
Obrázek 37 Měření mikro tvrdostí HV 0,1 "vpich 1"

	HV 0,1	HRC
1	569	53,5
2	562	53,1
3	519	50,4
4	516	50,2
5	530	51,2
6	440	44,5
7	569	53,5
8	586	54,5
9	577	54
10	503	49,4



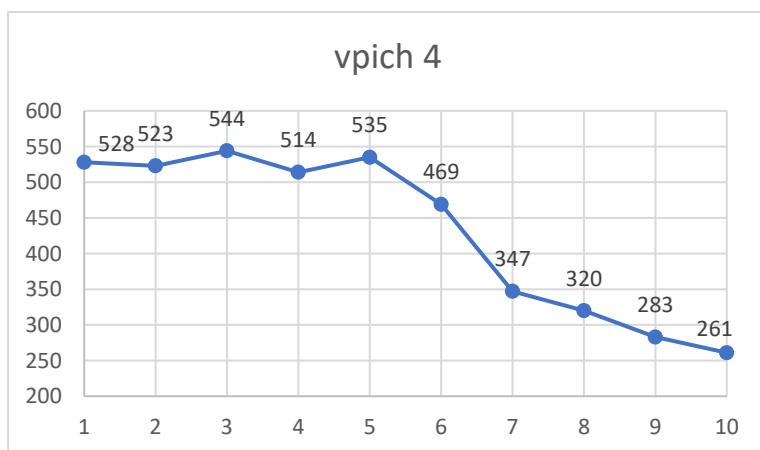
Obrázek 38 Měření mikro tvrdostí HV 0,1 "vpich 2"

	HV 0,1	HRC
1	510	49,8
2	526	50,9
3	530	51,1
4	586	54,5
5	558	52,9
6	378	38,6
7	553	52,5
8	522	50,6
9	519	50,4
10	573	53,8



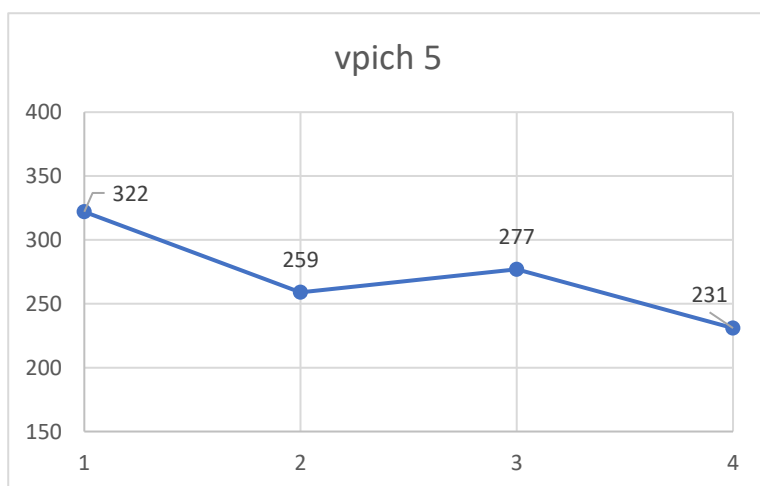
Obrázek 39 Měření mikro tvrdostí HV 0,1 "vpich 3"

	HV 0,1	HRC
1	554	52,6
2	560	53
3	530	51,1
4	561	53,1
5	478	47,5
6	320	32,2
7	557	52,8
8	538	51,6
9	551	52,5
10	589	54,7



	HV 0,1	HRC
1	528	51
2	523	50,7
3	544	52
4	514	50
5	535	51,4
6	469	46,8
7	347	35,3
8	320	32,2
9	283	27,6
10	261	24,2

Obrázek 40 Měření mikro tvrdostí HV 0,1 "vpich 4"



	HV 0,1	HRC
1	322	32,5
2	259	23,9
3	277	20,9
4	231	21,3

Obrázek 41 Měření mikro tvrdostí HV 0,1 "vpich 5"

Diskuse dosažených výsledků

Z dosažených výsledků uvedených v kapitole 4 lze konstatovat:

- Z hlediska posouzení makrostruktury svarových spojů trubek o průměru \varnothing 31x4,6 mm z materiálu 34MnB5 a \varnothing 41x5,9 mm z materiálu 26MnB5 nevykazují vzorky nepovolené vady. Kompresní linie a úhel je vyhovující.
- Z hlediska mikrostrukturního posouzení nevykazují svarové spoje nepřípustné vady.
- Z hlediska naměřených hodnot mikrotvrdostí HV 0,1 lze konstatovat rozsah naměřených hodnot od 228 do 721 HV 0,1 u trubky o průměru \varnothing 31x4,6 mm z materiálu 34MnB5. Hodnoty jsou vyšší než dovolené hodnoty, trubka je čistě svařená bez tepelného zpracování. Žihání, popřípadě popouštění tyto hodnoty dokáže značně snížit a dostat se tak na povolené hodnoty tvrdosti. U trubky o průměru \varnothing 41x5,9 mm z materiálu 26MnB5 byly dosaženy minimální hodnoty 261 HV 0,1 a maximální hodnoty 586 HV 0,1. Hodnoty jsou vyšší a pro jejich snížení lze využít proces tepelného zpracování. Po aplikaci tepelného zpracování jsou dosaženy vyhovující výsledky.

Součástí řešení práce byla dále optimalizace procesu zkoušení trubek v průběhu výroby a po ní viz kapitola 3. Byl navržen postup a zařízení pro zrychlení zkoušení polotovarů a výrobků. V současné době se zkouška dělala zcela ručně a trvala přibližně 20-30 minut. Při zařazení elektrolytické leštičky do procesu zkoušení se doba přípravy zkrátila na dobu 10-15 minut při zjištěných parametrech:

- Průtok nastaven na 10 %.
- Napětí při leštění 4,6 V a čas leštění 20 s.
- Napětí při leptání 1 V a čas leptání 4 s.

Všechny parametry jsou platné za použití elektrolytu K1.

Závěr

V bakalářské práci byla řešena problematika výroby trubek pro dílce stabilizátorů V automobilovém průmyslu.

V první části práce je rozebrána problematika současného stavu výroby svařovaných tenkostěnných trubek včetně tepelného zpracování.

V experimentální části práce je provedený návrh svařování trubek s optimalizací procesu zkoušení.

Lze konstatovat, že vzorky použité v práci nevykazovaly nepřípustné vady. Avšak naměřené tvrdosti po svařování překračovaly maximální povolené hodnoty. Po zařazení tepelného zpracování bylo dosaženo vyhovujících výsledků svarových spojů.

Současným úkolem práce bylo optimalizovat přípravu vzorků a vlastní metalografickou kontrolu v průběhu výroby tenkostěnných trubek.

Výsledky práce jsou v současné době již aplikovány v praxi při výrobě tenkostěnných trubek.

Použitá literatura

1. KOHOUT, Jaroslav. *Optimalizace procesu výroby trubek*. Brno, 2019. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav strojírenské technologie. Vedoucí práce Ing. Kamil Podaný, Ph.D.
2. HAIMBAUGH, Richard E. *Practical induction heat treating*. Second edition. Materials Park, Ohio: ASM International, [2015]. ISBN 978-1-62708-089-7. Dostupné také z: <https://app.knovel.com/web/toc.v/cid:kpPIHTE00B/viewerType:toc/>
3. NACKE, Bernard a Egbert BAAKE. *Induction Heating - Heating - Hardening - Annealing - Brazing - Welding*. Vulkan Verlag, 2016. ISBN 978-3-8027-3048-1. Dostupné také z: <https://app.knovel.com/web/toc.v/cid:kpIHHHABWD/viewerType:toc/>
4. EBNESAJJAD, Sina a Pradip R. KHALADKAR. *Fluoropolymer applications in the chemical processing industries: the definitive user's guide and handbook*. Second edition. Liddington, Oxford, United Kingdom: William Andrew Applied Science Publishers, [2018]. PDL handbook series. ISBN 978-0-32-344716-4. Dostupné také z: <https://app.knovel.com/web/toc.v/cid:kpFACPIT03/viewerType:toc/>
5. VÁŇOVÁ, Petra. *Základy tepelného zpracování: Studijní opora* [online]. Ostrava: Vysoká škola báňská – Technická univerzita, 2011, 127 s. [cit. 2020-05-01]. Dostupné z: http://katedry.fimmi.vsb.cz/Opory_FMMI/636/636-Vanova_ZTZ.pdf
6. ROSECKÁ, Eva. *Tepelné zpracování ocelí: Heat treatment of steels* [online]. Brno: Vysoké učení technické v Brně, 2013, 47 s. [cit. 2020-05-01]. Dostupné z: https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=66135. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav strojírenské technologie. Vedoucí práce Doc. Ing. JAROSLAV ŠENBERGER CSc.
7. HROMADA, Martin. *Povrchové kalení ocelí vláknovým ybyag laserem: surface hardening os steels by ybyag fiber laser* [online]. Vysoké učení technické v Brně: Vysoké učení technické, 2013, 70 s. [cit. 2020-05-04]. Dostupné z: https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=64707. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, ústav strojírenské technologie. Vedoucí práce RNDr. Libor Mrňa, Ph.D.
8. 7. Charakter fázových přeměn v tuhém stavu u ocelí (perlit, bainit,...). *Strojírenství: Vše co student potřebuje vědět* [online]. [cit. 2020-05-04]. Dostupné z: <https://strojirenstvi.studentske.cz/2010/11/7-charakter-fazovych-premen-v-tuhem.html>

9. Normy a předpisy Automotive
10. *De maquinas y herramientas* [online]. [cit. 2020-05-15]. Dostupné z: <https://www.demaquinasyherramientas.com/soldadura/introduccion-soldadura-por-induccion>
11. *Knovel: Induction heating - Heating - Hardening - Annealing - Brazing - Welding* [online]. [cit. 2020-05-15]. Dostupné z: https://app.knovel.com/web/view/khtml/show.v/rcid:kpIHHHABWD/cid:kt01207C02/viewerType:khtml/root_slug:4-joining-and-cutting/url_slug:joining-and-cutting?b-toc-cid=kpIHHHABWD&b-toc-root-slug=&b-toc-url-slug=joining-and-cutting&b-toc-title=Induction%20Heating%20-%20Heating%20-%20Hardening%20-%20Annealing%20-%20Brazing%20-%20Welding&page=5&view=collapsed&zoom=1
12. *ScienceDirect* [online]. [cit. 2020-05-15]. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0254058407005081>

Seznam obrázků

Obrázek 1 Válcovna plechu	2
Obrázek 2 Svařování konců plechů	3
Obrázek 3 Začátek ohýbání plechu.....	4
Obrázek 4 Polotovár trubky	4
Obrázek 5 Zakružovací stroj.....	4
Obrázek 6 Svařovací linka	5
Obrázek 7 Indukční svařování [10].....	5
Obrázek 8 Typy ohřívání cívkami [11].....	7
Obrázek 9 Indukční ohřev.....	8
Obrázek 10 Odkapávač	9
Obrázek 11 Schéma jednotlivých žíhacích operací [5].....	10
Obrázek 12 Mikrostruktura a) bainit b) martenzit [12]	11
Obrázek 13 Elektrolytická leštička	13
Obrázek 14 Rozbrušovací pila	14
Obrázek 15 Vzorek (před leptáním)	14
Obrázek 16 Vzorek (po leptání).....	14
Obrázek 17 Elektrolytické leštění.....	15
Obrázek 18 Panel pro řízení leštičky	15
Obrázek 19 Vzorek pod mikroskopem	16
Obrázek 20 Makrostruktura vzorku (vzorek č.90).....	16
Obrázek 21 Hodnocení úhlu kompresních linií	18
Obrázek 22 Hodnocení výšky středu kompresních linií	18
Obrázek 23 Vzorek č.20 po elektrolytickém leštění	19
Obrázek 24 Vzorek č. 78 po elektrolytickém leštění	19
Obrázek 25 Vzorek č.60 po elektrolytickém leštění	20
Obrázek 26 Vzorek č.61 po elektrolytickém leštění	20
Obrázek 27 Vzorek č.75 po elektrolytickém leštění	21
Obrázek 28 Vzorek č.95 po elektrolytickém leštění	21
Obrázek 29 Vzorek č.92 po elektrolytickém leštění	22
Obrázek 30 Měření mikro tvrdosti ve vybraných oblastech svar. spoje.....	23
Obrázek 31 Měření mikro tvrdostí HV 0,1 "vpich 1"	23
Obrázek 32 Měření mikro tvrdostí HV 0,1 "vpich 2"	24
Obrázek 33 Měření mikro tvrdostí HV 0,1 "vpich 3"	24
Obrázek 34 Měření mikro tvrdostí HV 0,1 "vpich 4"	24
Obrázek 35 Měření mikro tvrdostí HV 0,1 "vpich 5"	25
Obrázek 36 Měření mikro tvrdosti ve vybraných oblastech svar. spoje.....	25
Obrázek 37 Měření mikro tvrdostí HV 0,1 "vpich 1"	26
Obrázek 38 Měření mikro tvrdostí HV 0,1 "vpich 2"	26
Obrázek 39 Měření mikro tvrdostí HV 0,1 "vpich 3"	26

Obrázek 40 Měření mikro tvrdostí HV 0,1 "vpich 4"	27
Obrázek 41 Měření mikro tvrdostí HV 0,1 "vpich 5"	27

Seznam tabulek

Tabulka 1 Chemické analýzy trubek materiálů 33MnB5 a 26MnB5	17
--	----